

**Радіотехнічні кола та сигнали**

УДК 621.396.62: 621.396.96

**АНАЛІЗ ЗОНДУЮЧОГО СИГНАЛУ ІЗ ТРАПЕЦЕЇДАЛЬНОЮ  
ВНУТРІШНЬОІМПУЛЬСНОЮ ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ****Мрачковський О.Д., к.т.н., доцент; Реутська Ю.Ю., асистент;  
Соловійов В.С., магістрант***Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Аналізуючи складні гідролокаційні сигнали із внутрішньоімпульсною частотною модуляцією, ми звернули увагу на статтю [1], де була приведена класифікація зондуючих сигналів по вигляду діаграм невизначеності. У подальшому подібна класифікація була деталізована у [2].

У приведеній класифікації ми побачили діаграму невизначеності для сигналів із модуляцією по трапецевидному закону. Особливість цієї діаграми була в тому, що вона мала V-образний вигляд. Численні розрахунки не підтвердили таку форму, а результати цих дослідів викладені нижче.

ТЛЧМ сигнал можна представити як суму двох ЛЧМ сигналів та прямокутного імпульсу:

$$v(t) = S_1\left(t + \frac{t_i}{n}\right) + S_2(t) + S_3\left(t - \frac{t_i}{n}\right), \text{ де } S_{1,3}(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{t_i}\right) \exp(j\pi\alpha t^2),$$

$$S_2(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{t_i}\right) \sin(\omega_0 t), \quad \alpha - \text{постійний коефіцієнт; } t_i - \text{тривалість зонду-}$$

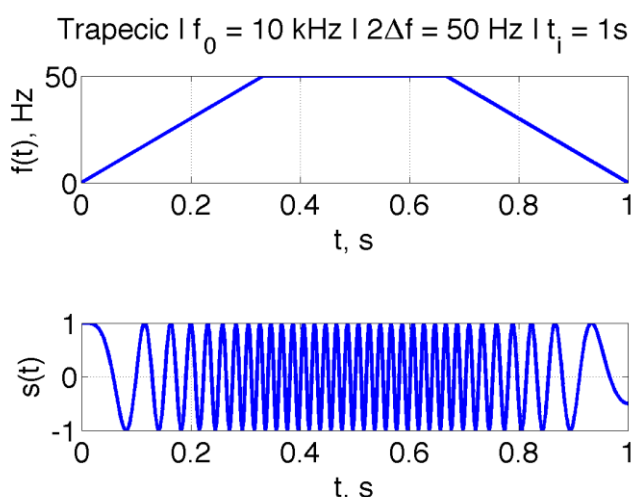


Рис. 1. ТЛЧМ сигнал.

чого сигналу.

Графічна залежність зміни частоти ТЛЧМ сигналу від часу та модульований сигнал представлені на рис. 1.

Спектр сигналу з ТЛЧМ записується у вигляді:

$$V(f) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty v(t) e^{-j\omega t} d\omega.$$

Для розрахунку параметрів сигналу була розроблена програма у середовищі Matlab. Розрахунки виконувались для сигналу із частотою носійної  $f_0 = 10 \text{ КГц}$ , тривалістю імпульсу  $t_i = 1 \text{ с}$ . та смугою частот  $2\Delta f = 50 \text{ Гц}$  та  $2\Delta f = 100 \text{ Гц}$ . Амплітудний спектр сигналу з ТЛЧМ пред-

тою носійної  $f_0 = 10 \text{ КГц}$ , тривалістю імпульсу  $t_i = 1 \text{ с}$ . та смугою частот  $2\Delta f = 50 \text{ Гц}$  та  $2\Delta f = 100 \text{ Гц}$ . Амплітудний спектр сигналу з ТЛЧМ пред-

ставлений на рис. 2 і має дуже значні осциляції, амплітуда яких знаходиться в межах від 0 до -40 дБ, у даному випадку.

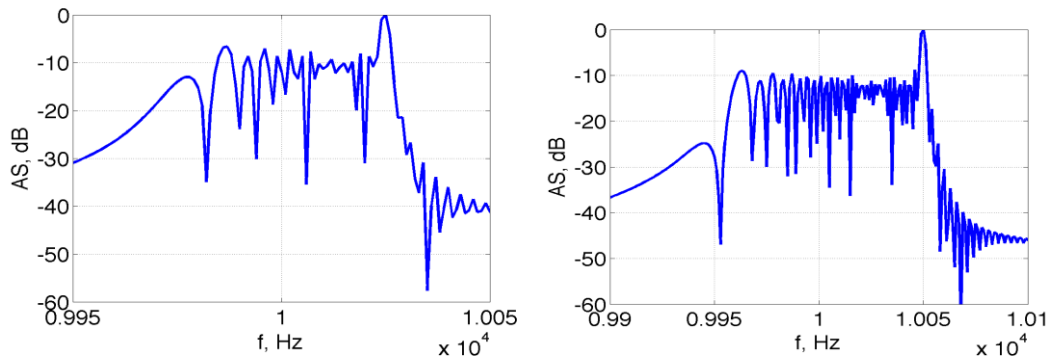


Рис. 2. Амплітудний спектр сигналу з ТЛЧМ з базою 50 та 100

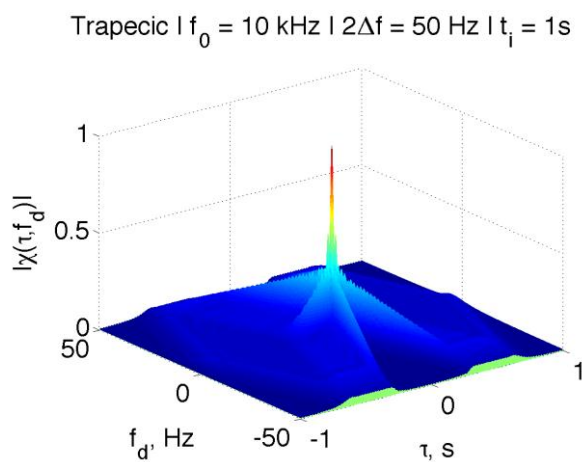


Рис. 3. Функція невизначеності ТЛЧМ

Функція невизначеності ТЛЧМ сигналу представлена на рис. 3. За формою функція невизначеності наближається до кнопкової.

Графік функції автокореляції представлений на рис. 4, а графіки взаємнокореляційної функції на рівнях 0.7, 0.5 та 0.3 від максимуму представлені на рис. 5, 6, 7, відповідно. Особливістю цих функцій є те, що відсутні бокові пелюстки. Замість них є так званий

п'єдестал, щоскладається із двох частин. Біля центрального піку знаходиться трикутний п'єдистал, що спадає до рівномірного п'єдесталу в області великих затримок, рівень якого зменшується із збільшенням бази сигналу, і для даних параметрів сигналу становить менше, ніж 0.1 від максимуму.

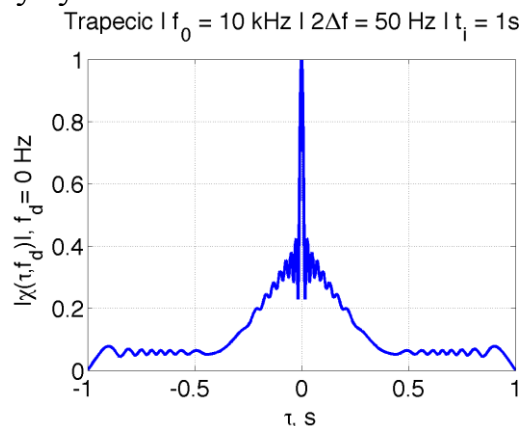


Рис. 4 АКФ сигналу

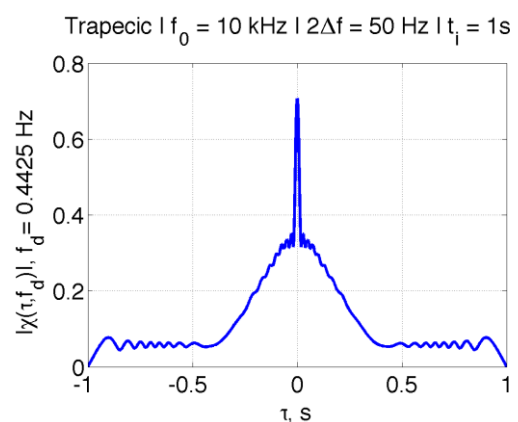


Рис. 5. ВКФ на рівні 0.7 від максимуму

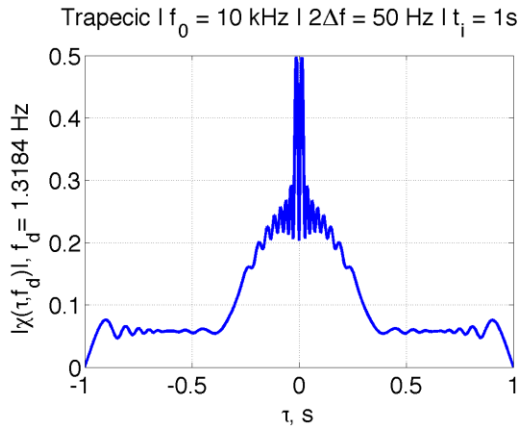


Рис. 6. ВКФ на рівні 0.5 від максимуму

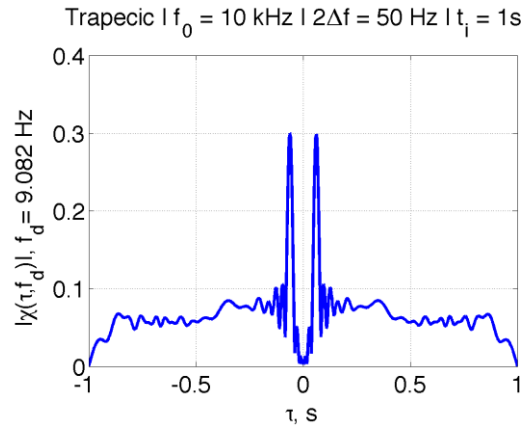


Рис. 7. ВКФ на рівні 0.3 від максимуму

Розщеплення вихідного сигналу на два сигнали представлено на рис. 6 та 7 і спостерігається при зменшенні ВКФ приблизно до рівня 0.55 від максимуму, що свідчить про втрату завадостійкості на 10 дБ при виявленні сигналу на фоні білого шуму.

При зменшенні рівня ВКФ приблизно до 0.35 від максимуму, трикутний п'єдистал біля центральних піків зникає. За парою вихідних сигналів можливо отримати незалежну оцінку дальності та швидкості цілі при локації з одного імпульсу використовуючи один дальномірний канал обробки сигналу. Відстань між відгуками зондуєчого сигналу прямо пропорційна швидкості цілі.

Ізокореляти в області сильної кореляції представлені на рис. 8, а ізокореляти в області слабкої ізокореляції представлені на рис. 9.

При збільшенні тривалості відрізка із постійною частотою, функція невизначеності всього сигналу змінюється від Х-образної, як у сигналу із симетричною лінійною ЧМ [3], до функції невизначеності прямокутного імпульсу із постійною частотою, проходячи стан Ж-образної форми (рис. 9).

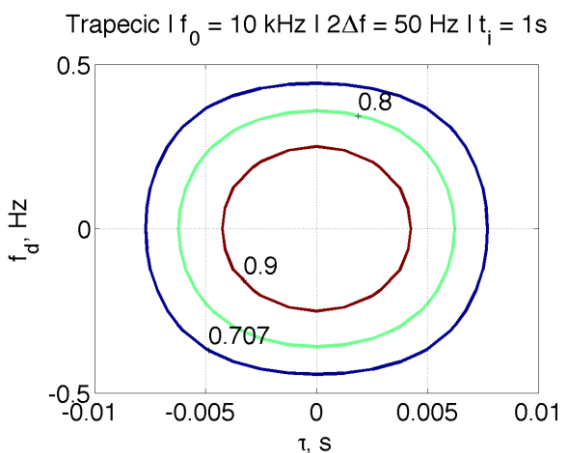


Рис. 8. Ізокореляти ФН в області сильної кореляції

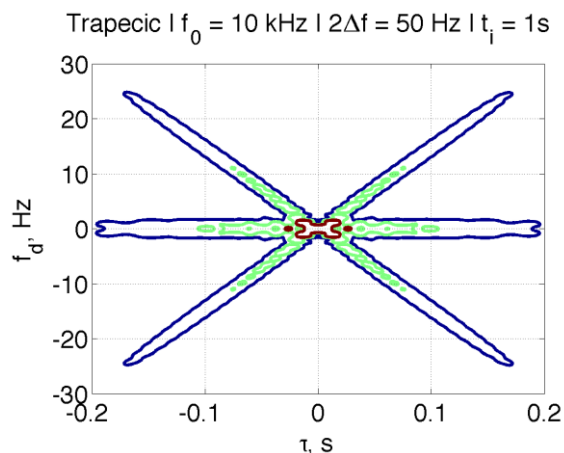


Рис. 9. Ізокореляти ФН в області слабкої кореляції

У більшості випадків в області сильної кореляції зрізи ФН сигналу з ТЛЧМ мають еліпсоїдальну форму (див. рис. 8), а приблизно на рівні 0.55 від максимуму еліпси починають переходити у Х-, а потім у Ж-образну форму (див. рис. 9)

При збільшенні тривалості відрізка із постійною частотою до третини усього сигналу, зменшується рівень бокових ізокорелят та рівень п'єдисталу (що становить рівень менш ніж 0.1 від максимуму) функції невизначеності за рахунок збільшення кількості цих пелюстків.

Доцільно використовувати ТЛЧМ сигнали виключно в області сильної кореляції, коли зріз ФН сигналу має форму еліпсу и можливе отримання незалежних оцінок дальності та швидкості цілі.

Сигнали із трапецеїдальною внутрішньоімпульсною модуляцією доцільно використовувати у гідролокації, тому що при виявленні підводних цілей малоімовірним є випадок наявності декількох цілей.

### **Література**

1. Турнуа П., Акустические дисперсионные линии задержки для сжатия импульсов. Зарубежная радиоэлектроника, №3, 1969.
2. Мрачковский О.Д., Классификация импульсных зондирующих локационных сигналов по виду диаграммы неопределенности. Вісник НТУУ «КПІ», серія «Радіотехніка, радіоапаратобудування», №39, 2009, с. 40-46.
3. Рихачек А.В., Митчелл Р.Л., Радиолокационные сигналы с зигзагообразной частотной модуляцией. Зарубежная радиоэлектроника, №9, 1969, с. 30-45.

*Мрачковський О.Д., Реутська Ю.Ю., Соловйов В.С. Аналіз зондує чого сигналу із трапецеїдальною внутрішньоімпульсною частотною модуляцією. Розглянуто сигнал із трапецеїдальною лінійною частотною модуляцією та його особливості, приведений графік амплітудного спектру сигналів із різною базою, діаграма функції невизначеності, графіки взаємнокореляційної функції та ізокореляти функції невизначеності в області сильної та слабкої кореляції, розглянуто зміни характеристик сигналу в залежності від зміни складової сигналу із постійною частотою. Розглянуто особливості розщеплення взаємнокореляційної функції на два піки та наслідки цього ефекту. Зроблені висновки щодо переваг та недоліків сигналу, зроблені висновки щодо доцільності та області використання сигналу.*

**Ключові слова:** частотна модуляція, функція невизначеності, кореляція.

*Мрачковский О.Д., Реутская Ю.Ю., Соловьёв В.С. Анализ зондирующего сигнала с трапецеидальной внутриимпульсной частотной модуляцией. Рассмотрен сигнал с трапецеидальной линейной частотной модуляцией и его особенности, приведен график амплитудного спектра сигналов с разной базой, диаграмма функции неопределенности, графики взаимнокорреляционной функции и изокорреляты функции неопределенности в области сильной и слабой корреляции, рассмотрены изменения характеристик сигнала в зависимости от изменения составляющей части с постоянной частотой. Рассмотрены особенности насчет преимуществ и недостатков сигнала, сделаны выводы насчет целесообразности и области использования сигнала.*

**Ключевые слова:** частотная модуляция, функция неопределённости, корреляция.

*Mrachkovsky O.D., Reutskaya Yu.Yu., Solovyov V.S. Analysis of sounding signal with the trapezoidal frequency intra-modulation. A signal with a trapezoidal linear frequency modulation and its properties are considered, figures of amplitude spectrum of signal are drawn, figures of ambiguity diagram, cross-correlation functions on different levels from the maximum and iso-response ambiguity function in strong and weak fields are shown. Changes of signal characteristics depending on change of a component of a constant frequency are outlined. Considered properties of section of cross-correlation function to two peaks and effect of these properties. Advantages and disadvantages of the signal, its application field are outlined.*

**Key words:** frequency modulation, ambiguity function, correlation.

*i*